



**LOS LIBERTADORES**  
FUNDACIÓN UNIVERSITARIA

ANÁLISIS DE FALLA PARA UN PUNZÓN DE CORTE, UN TORNILLO DE  
SUJECCIÓN DE UN CILINDRO HIDRÁULICO PARA MAQUINARIA PESADA, Y UN  
TORNILLO DE SUJECCIÓN DE UNA TORNAMESA PARA MAQUINARIA PESADA

YESID REYNALDO GARCÍA ROJAS

EDWIN VICENTE ARIAS DIAZ

JOHAN SEBASTIAN VASQUEZ MORALES

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES

FACULTAD DE INGENIERÍA

BOGOTÁ D. C.

2018

ANÁLISIS DE FALLA PARA UN PUNZÓN DE CORTE, UN TORNILLO DE  
SUJECCIÓN DE UN CILINDRO HIDRÁULICO PARA MAQUINARIA PESADA, Y UN  
TORNILLO DE SUJECCIÓN DE UNA TORNAMESA PARA MAQUINARIA PESADA

YESID REYNALDO GARCÍA ROJAS

EDWIN VICENTE ARIAS DIAZ

JOHAN SEBASTIAN VASQUEZ MORALES

TRABAJO DE GRADO PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OPTAR  
AL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO.

Director:

ING. JESUS MANUEL GUTIERREZ BERNAL

MAGISTER EN INGENIERÍA MECÁNICA

FUNDACIÓN UNIVERSITARIA LOS LIBERTADORES

FACULTAD DE INGENIERÍA MECANICA

BOGOTÁ D.C

2018

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

---

---

Firma de consejo de carrera

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

## Tabla de Contenido

Listado de Ilustraciones .....	6
Listado de Tablas .....	7
Listado de Diagramas .....	8
Listado de Anexos.....	9
1   Objetivos .....	12
1.1   Objetivo General .....	12
1.2   Objetivos específicos.....	13
2   Análisis de Falla.....	13
2.1   Causas Raíz de fallas mecánicas. ....	13
2.1.1   Diseño Deficiente.....	13
2.1.2   Defectos en la materia prima .....	13
2.1.3   Defectos en la fabricación.....	14
2.2   Categoría de Fallas .....	14
2.3   Tratamiento Térmico.....	14
2.4   Procesos de Fabricación .....	14
2.4.1   Procesos de Mecanizado .....	14
2.4.2   Proceso de Fundición .....	14
2.4.3   Laminación. ....	15
3   Fractura .....	15
3.1   Tipos de Fractura.....	15
3.1.1   Fractura Dúctil .....	15
3.1.2   Fractura Frágil.....	16
4   La Fractura por fatiga.....	16
4.1   Fases de la Fatiga .....	17
5   Desgaste .....	17
5.1   Tipos de Desgaste.....	17
6   Desarrollo Experimental .....	18
6.1   Metodología .....	19
7   Documentación e Inspección Visual.....	21
7.1   Tornillo Tornamesa (Muestra 1) .....	21
7.2   Tornillo Cilindro Hidráulico (Muestra 2) .....	23

7.3	Punzón de Corte (Muestra 3) .....	25
8	Composición Química .....	28
8.1	Composición química tornillo tornamesa (Muestra 1).....	30
8.1.1	Prueba en Laboratorio de Dureza Rockwell C .....	31
8.2	Composición química tornillo de cilindro hidráulico (Muestra 2).....	31
8.2.1	Prueba en Laboratorio de Dureza Rockwell C .....	33
8.3	Composición química punzón de corte (Muestra 3) .....	33
8.3.1	Tratamiento Térmico del Acero AISI M2 .....	34
8.3.2	Prueba en Laboratorio de Dureza Rockwell C .....	35
9	Microestructuras obtenidas de Laboratorio .....	36
9.1	Tornillo tornamesa (Muestra 1).....	36
9.2	Tornillo Cilindro hidráulico (Muestra 2) .....	37
9.3	Punzón de corte (Muestra 3) .....	38
10	Diagnóstico de Resultados.....	40
11	Conclusiones .....	43
12	Bibliografía .....	44

## Listado de Ilustraciones

---

Ilustración 1. Etapas de la formación de una fractura dúctil de copa y cono .....	16
Ilustración 2. Flujo grama de secuencia de desarrollo del proyecto .....	18
Ilustración 3. Sierra de corte. ....	19
Ilustración 4. Máquina de lijar .....	19
Ilustración 5. Microscopio metalográfico Olympus GX 41 .....	19
Ilustración 6. máquina de pulido.....	20
Ilustración 7. Durometro .....	20
Ilustración 8. Plataforma JLG Modelo 450AJ .....	21
Ilustración 9. Tornillo recomendado para cambio .....	22
Ilustración 10. Fractura en tornillo.....	22
Ilustración 11. Espirales en fractura.....	23
Ilustración 12. Secciones de los brazos Plataforma JLG .....	23
Ilustración 13. Detalle de deformación y pérdida de hilo número 3.....	24
Ilustración 14. Evidencia fractura del tornillo .....	24
Ilustración 15. Plataforma JLG 800AJ.....	25
Ilustración 16. Punzonadora TRUMATIC 200.....	25
Ilustración 17. Estado en el que se encontró el punzón .....	26
Ilustración 18. Detalles logrados Con un Estereoscopio .....	27
Ilustración 19. Detalles captados de la fractura sufrida por el punzón de corte .....	27
Ilustración 20. Equipo PMI-MASTER PRO .....	28
Ilustración 21. Probetas Marcadas para realizar la prueba de composición química, Muestra 1- Tornillo de la tornamesa, Muestra 2- Tornillo de cilindro hidráulico, Muestra 3 – Punzón de corte.....	29
Ilustración 22. Quemadura provocada por el espectrómetro PMI-MASTER PRO.....	29
Ilustración 23. Microestructura tomada a la probeta del tornillo de la tornamesa con aumento de a)10x b)20x, c)50x y d) 100x.....	36
Ilustración 24. Microestructura tomada a la probeta del tornillo del cilindro hidráulico con aumento de a) 10x, b) 20x y c) 50x .....	37
Ilustración 25. Microestructura del Acero AISI 4340 .....	38
Ilustración 26. Microestructura tomada a la probeta del punzón con aumento de a) 10x, b) 20x, c) 50x y d)100x .....	38
Ilustración 27. Detalle de la microestructura .....	39
Ilustración 28. AISI M2 molibdeno1000×.....	39
Ilustración 29. Transformación de un acero eutectoide en condiciones de enfriamiento lento....	40

## Listado de Tablas

---

Tabla 1. Composición química de la Muestra 1 .....	30
Tabla 2. Comparación de % teórico con el obtenido Muestra 1 .....	31
Tabla 3. Dureza Resultante de 3 pruebas de la muestra 1 en el laboratorio. ....	31
Tabla 4. Composición química de la Muestra 2 .....	32
Tabla 5. Comparación de % teórico con el obtenido Muestra 2 .....	32
Tabla 6. Dureza Resultante de 3 pruebas de la muestra 2 en el laboratorio. ....	33
Tabla 7. Composición química de la Muestra 3 .....	33
Tabla 8. Comparación de % teórico con el obtenido Muestra 3 .....	34
Tabla 9. Dureza en HRC del acero AISI M2 teniendo como referencia la temperatura de revenido .....	35
Tabla 10. Dureza Resultante de 3 pruebas de la muestra 3 en el laboratorio .....	36
Tabla 11. Diagnóstico realizado por los autores de la causa raíz de falla .....	40

## **Listado de Diagramas**

Diagrama 1. Vida Útil de un punzón en número de golpes, a partir de espesores de lamina..... 26

---



## **Listado de Anexos**

---

Anexo 1. Reporte de análisis de composición química de la muestra 1 .....	30
Anexo 2. Reporte de análisis de composición química de la muestra 2 .....	30
Anexo 3. Reporte de análisis de composición química de la muestra 3 .....	30
Anexo 4. Tabla de Aceros Grado Herramienta con su composición química .....	33

## **Dedicatoria**

---

### **Yesid Reynaldo García Rojas.**

A en primer lugar a Dios por regalarme la salud para día a día haber buscado este logro, a mis padres y hermanas por su incondicional apoyo para nunca haber desistido, mi esposa e hija por acompañarme en este proceso y a este gran recinto educativo por brindarme los conocimientos para obtener el título de Ingeniero Mecánico

### **Edwin Vicente Arias Díaz**

A mis padres y hermanos que creyeron en mí durante este proceso de formación, a mis compañeros por hacer parte de mi formación profesional y colaborar en este trabajo y a la fundación universitaria los libertadores por permitirme finalizar la carrera profesional y adquirir el título de ingeniero mecánico

### **Johan Sebastián Vásquez Morales**

Esta tesis es dedicada a Dios que está siempre como mi amigo y guía, a mis padres que me formaron con grandes valores que voy a seguir practicando como profesional a mi familia que como ejemplo no puedo tener uno mejor, a la universidad Los Libertadores por promover mi formación y permitirme obtener el título de Ingeniero Mecánico.

## **Agradecimientos**

---

A nuestro director de proyecto el Ingeniero Jesús Manuel Gutiérrez Bernal por su ayuda en la construcción de esta tesis al igual que nuestro anterior Director el Ingeniero José David Castro Castro quien también fue participe de este proyecto.

A la fundación Universitaria Los Libertadores por darnos la oportunidad de graduarnos como Ingenieros Mecánicos.

Al grupo de profesores que aportaron su conocimiento para el desarrollo de nuestra carrera

A todos nuestros compañeros por estar con nosotros a lo largo de este camino y brindarnos su apoyo incondicional.

## Resumen

---

Para este proyecto se utilizó el método de análisis de falla para tres piezas mecánicas las cuales sufrieron fractura por diferentes causas, en primer lugar se realizó una inspección visual de cada una de las piezas, tomando una probeta se llevaron a cabo pruebas químicas se logró establecer los diferentes componentes químicos que posee cada pieza, además con el análisis metalográfico de su microestructura también se logró determinar qué tipo de acero era y si además contaba con tratamiento térmico o no. se lograron determinar las hipótesis que sustentan más la causa de la falla, para el punzón de corte se logró establecer que fallo por fatiga y desgaste ya que no se tenía registro de inicio de trabajo de esta herramienta y es la causa más probable de la falla. Para los tornillos del cilindro hidráulico y la tornamesa se realizaron las hipótesis de fallas por fatiga del material al momento de dar ajuste a los tornillos. Esta clase de estudios ayuda a definir parámetros de diseño para evitar fallas en máquinas y estructuras, así como crear un historial de fallas con causas definidas que servirán como apoyo a futuros proyectos

**Palabras clave:** Análisis de falla, metalografía, composición química, microestructura, fatiga, fractura

## Abstract

---

For this project the fault analysis method was used for three mechanical parts which suffered fracture due to different causes, first of all a visual inspection of each of the pieces was made, taking a test tube, chemical tests were carried out, it was established the different chemical components that each piece possesses, in addition to the metallographic analysis of its microstructure, it was also possible to determine what type of steel was and if it also had thermal treatment or not. it was possible to determine the hypothesis that support the cause of the failure, for the cutting punch it was established that failure due to fatigue and wear since there was no record of work start of this tool and is the most likely cause of the failure . For the screws of the hydraulic cylinder and the turntable the fatigue failure hypotheses of the material were made at the moment of adjusting the screws. This kind of studies helps to define design parameters to avoid faults in machines and structures, as well as create a fault history with defined causes that will serve as support for future projects.

**Keywords:** Failure analysis, metallography, chemical composition, microstructure, fatigue, fracture

## 1 Objetivos

---

### 1.1 Objetivo General

Realizar el análisis de falla de tornillo sujetador cilindro hidráulico de maquinaria pesada, un tornillo sujetador de un rodamiento oscilante de un equipo de maquinaria pesada y un punzón de corte.

## 1.2 Objetivos específicos

- Determinar por medio de análisis metalográficos la microestructura y falla del tornillo sujetador cilindro hidráulico de maquinaria pesada, tornillo sujetador de un rodamiento oscilante de un equipo de maquinaria pesada y de un punzón de corte
- Realizar informe de la causa raíz encontrada en los componentes

## 2 Análisis de Falla

---

Se dice que cuando una pieza no trabaja de la manera adecuada y constantemente se debe realizar un mantenimiento, se puede hablar de una imperfección en el diseño, pero por el contrario cuando una pieza falla de manera repentina y a muy temprano tiempo de cumplirse su vida útil o incluso luego de haberse cumplido su tiempo optimo se puede hablar de una falla, las cuales a nivel de producción generan paros repentinos y consigo sobre costos en la manufactura, incluso muchas veces cobra heridos y victimas mortales. Es por eso que surge la necesidad de analizar las fallas para lograr determinar acciones correctivas para el momento inmediato y acciones preventivas para evitar que fallas en las piezas causen inconvenientes en la producción y porque no evitar accidentes fatales. (ASM International. Handbook Committee & Shipley, 2002)

### 2.1 Causas Raíz de fallas mecánicas.

Se considera que un análisis de falla es el examen de las características y causas del fallo del equipo o componente, las fallas revelan causas de raíz física que caen en una de tres categorías fundamentales:

#### 2.1.1 Diseño Deficiente

Las características inaceptables de un producto o sistema que son resultado del proceso de diseño. Este proceso abarca el desarrollo de concepto original, la configuración general, definición y diseño detallado, incluida la selección y especificación de materiales y procesos de fabricación. Se puede encontrar en las deficiencias de diseño los aumentos de estrés debido a muescas excesivamente afiladas (por ejemplo, en chaveteras de los ejes) o radios insuficientes (por ejemplo, en los ejes de los cojinetes).

Otro ejemplo seleccionar un material que es incapaz de proporcionar propiedades mecánicas adecuadas para aplicación (incluida resistencia, resistencia a la fatiga, resistencia a la fractura, resistencia a la corrosión, resistencia a la temperatura elevada, etc.) Los materiales pueden exhibir anisotropía, o variabilidad en las propiedades dentro de un producto. Se puede demostrar que el material cumple con las propiedades requeridas, pero las propiedades físicas requeridas para alguna aplicación pueden depender de la resistencia, tenacidad o resistencia al agrietamiento por tensión y corrosión en una dirección que no sea longitudinal (ASM International. Handbook Committee & Shipley, 2002)

#### 2.1.2 Defectos en la materia prima

Las imperfecciones o discontinuidades inaceptables en los materiales son defectos, y algunos tipos de imperfecciones pueden ser generalmente perjudicial para el rendimiento o la apariencia de un producto o sistema. A pesar de las medidas tomadas para controlar, documentar, medir, analizar y mejorar procesos involucrados en fabricación del producto, se producen defectos de material. Muchos defectos se evitan que salgan a través de procedimientos internos y sistemas de

garantía de calidad. Sin embargo, a veces se entregan materiales defectuosos (ASM International. Handbook Committee & Shipley, 2002)

### **2.1.3 Defectos en la fabricación**

Los productos pueden diseñarse correctamente utilizando materiales de construcción sólidos, pero son defectuosos ya que se entregan desde el fabricante, debido a imperfecciones rechazables (defectos) introducidas durante el proceso de fabricación o debido a errores de instalación de un sistema en un sitio. Existe una amplia variedad de defectos causados por la fabricación, todos y cada uno de los procesos de fabricación o instalación tienen muchas variables que, cuando se permite superar los límites de control, puede dar como resultado un proceso defectuoso. (ASM International. Handbook Committee & Shipley, 2002)

## **2.2 Categoría de Fallas**

Se pueden encontrar diferentes categorías de fallas, como por ejemplo fallas químicas, fallas físicas, fallas mecánicas.

## **2.3 Tratamiento Térmico**

De todos los diversos métodos de procesamiento de acero tiene el mayor impacto global en el control de microestructura, propiedades, tensiones residuales y control dimensional. De los tratamientos térmicos podemos mirar fallas como crecimiento del grano, transformación de fase incompleta, descarburación, martensita no templada, fricción por temple y condiciones similares de fragilidad, precipitación inadecuada, microestructura sensibilizada, inhomogeneidad en microestructura y pérdida de propiedades debido al sobrecalentamiento durante el horneado posterior al recubrimiento

## **2.4 Procesos de Fabricación**

Durante los procesos de fabricación se pueden generar fallas que aparecerán durante el desempeño de la pieza. En el proceso de mecanizado, fundición, Laminado en Caliente o frío

### **2.4.1 Procesos de Mecanizado**

Las fallas en los procesos de mecanizado se pueden generar cuando las piezas en su fabricación generan alguna fisura por descompensación de la máquina, exceso de vibración, calentamiento de la pieza por exceso en las revoluciones o el avance de la herramienta

### **2.4.2 Proceso de Fundición**

Las fallas en las fundiciones pueden ocurrir a causa de las condiciones de servicio, diseño inadecuado, selección de materiales inadecuados, deficiencias de fabricación, o una combinación de todas. Una falla relacionada con defectos es el resultado de una condición que no cumple con los criterios de aceptación establecidos que el diseñador no pudo anticipar. Sin embargo, muchas de las causas comunes de fallas en las fundiciones ocurren a partir de uno o más aspectos de diseño, selección de materiales, imperfecciones de fundición, procesamiento defectuoso, ensamblaje incorrecto o condiciones de servicio no inicialmente anticipado. Algunas imperfecciones de fundición no tienen ningún efecto sobre la fundición o la vida útil del molde donde se lleva a cabo, pero dará una apariencia insatisfactoria o hará un procesamiento adicional, como el mecanizado haciendo el proceso más costoso. La clasificación de los defectos en fundición los fundidores han usado nombres únicos, tales como rattle, scab, heckle y shut, para describir las imperfecciones de la fundición. Sin embargo, debido a que las fundidoras a veces usan una nomenclatura diferente para describir imperfecciones o defectos, el Comité

Internacional de Asociaciones Técnicas de Fundición (ICFTA) ha estandarizado la nomenclatura, comenzando con la identificación de siete categorías básicas de imperfecciones de fundición:

- Proyecciones metálicas.
  - Discontinuidades.
  - Defectos.
  - Dimensión incorrecta.
  - Inclusiones o anomalías estructurales
- (ASM International. Handbook Committee & Shipley, 2002)

### **2.4.3 Laminación.**

Se puede presentar fallas durante la laminación y esto puede generar pequeñas fisuras que a simple vista no se detallan en la pieza pero que posteriormente puede generar una falla temporal o inmediata de esta.

#### **2.4.3.1 Laminación en caliente**

Se definen en una deformación en condiciones tales de temperatura y velocidad de deformación que se produce simultáneamente la deformación y la restauración del grano. Generalmente se efectúan en temperaturas de 1300°C y 900°C.

#### **2.4.3.2 Laminación en frío**

Es realizada en condiciones tales que no es posible que se produzca eficazmente los procesos de restauración. Generalmente la laminación en frío se efectúa entre 200°C y la temperatura ambiente (Castañeda, 1999)

## **3 Fractura**

---

La fractura se define como la falla de un material el cual reacciona por la separación del material en dos o más partes por la acción de una fuerza externa. Una de sus principales características es la lenta propagación sobre la pieza que la lleva posteriormente a un desprendimiento total y separación de material.

### **3.1 Tipos de Fractura**

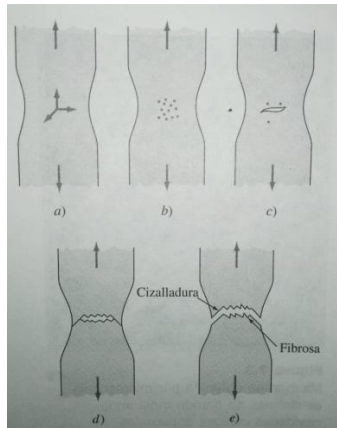
Se pueden encontrar diferentes tipos de fractura en los materiales de ingeniería, en los aceros se pueden encontrar tres importantes fracturas, que se caracterizan cada una con la propagación lenta o rápida sobre el material y su forma de propagarse, se encuentra la fractura dúctil, la fractura frágil y la fractura mecánica entre otras.

#### **3.1.1 Fractura Dúctil**

El autor lo define como la fractura dúctil tiene lugar después de una intensa deformación plástica, en la practica la fractura dúctil son menos frecuentes que las frágiles y su principal causa es el exceso de carga aplicada sobre el componente y esto podría deberse a un mal diseño,

una fabricación inadecuada o excesos en los niveles de carga aplicados que sobrepasan el permitido (William F Smith, 2004)(pj 272)

*Ilustración 1. Etapas de la formación de una fractura dúctil de copa y cono*



Fuente: (William F Smith, 2004)

### 3.1.2 Fractura Frágil

La fractura frágil se caracteriza por avanzar a lo largo de los planos cristalográficos determinados llamados planos de exfoliación bajo un esfuerzo normal al plano de exfoliación, las fracturas frágiles en los metales policristalinos en su mayoría, son transgranulares es decir la fisura se propaga a través del interior de los granos, en muchas ocasiones la fractura frágil ocurre por defectos en el metal, estos defectos pueden ocurrir durante la etapa de fabricación o aparecen en el tiempo de desempeño (William F Smith, 2004) (pj 273)

## 4 La Fractura por fatiga

Un material se dice que está sometido a fatiga cuando se halla solicitado por cargas variables a través del tiempo. (Borrás, 2005).

Se puede definir en palabras sencillas como un cambio que por consecuencia de un número de repeticiones seguidas vienen afectando a piezas hasta llevarla a un desprendimiento total. Un autor cuenta la historia así:

Quien lo haya llamado primero quizás fue el inglés Braithwaite en 1854 o más a lo mejor el francés Poncelet ya en 1839, el término de fatiga es ciertamente el más apropiado para definir precisamente esta acumulación continua de daño en el material que se debilita y finalmente falla porque, desafortunadamente, este daño no es recuperable y no sana como en los humanos después de descansar durante un tiempo. La fatiga comienza a principios de 1800 y sigue en desarrollo industrial de este periodo particular, impulsado por las dos principales industrias de la época, la minería y en particular la industria ferroviaria. Probablemente, el primer artículo publicado sobre fatiga y el primer experimento de fatiga en el mundo fueron dirigidos en Alemania por Albert en 1837 y estaba preocupado por la falla continua de las cadenas de transporte en la mina. Pero fue el sector ferroviario el que dio el



Mayor impulso a la fatiga y la mejoraría más significativamente para el diseño. Era de hecho, un ingeniero ferroviario alemán, Wöhler, quien en 1858 inicio estos estudios eso llevaría al descubrimiento de que el daño por fatiga depende de la amplitud de estrés cíclico y la formulación, en 1870, de la ley fundamental nombrada después a él la ley de Wöhler los materiales pueden ser inducidos a fallar por muchas repeticiones de tensiones, todas las cuales son más bajas que la fuerza estática. Sin embargo, no fue antes de 1924, 50 años después del trabajo de Wöhler, que el primer libro de texto sobre fatiga será publicado por el inglés Gough. Antes de que se publicara el primer libro sobre fatiga, fue en 1910 que se pudo mirar los resultados de Wöhler se hicieran presentados en una escala algorítmica, llamadas las curvas S - N tan familiares hoy en día para los ingenieros. La gran aceleración en el estudio de fatiga apareció entre los años 1939 y 1960 cuando la atención de los científicos y el mundo tecnológico se movió del sector ferroviario al aire y al espacio, siendo más avanzado y fuertemente impulsado por las necesidades de la guerra y más tarde por los militares y competencia comercial (MILELLA, 2012)

La fatiga corresponde a un tipo de fractura frágil que se ve sometida a un total de N ciclos a un esfuerzo por debajo de la resistencia a la tensión (Shakelford, 1995)

#### 4.1 Fases de la Fatiga

Usualmente las fallas por fatiga se generan en tres fases:

- **Fase 1:** se inicia uno o más grietas (fisura o muesca) e la superficie del material. Pueden aparecer en cualquier punto del material, pero en general ocurren alrededor de alguna fuente de concentración de tensión y en la superficie exterior donde las fluctuaciones de tensión son más elevadas. Las grietas pueden aparecerse por muchas razones: imperfecciones en la estructura microscópica de material, muescas o entallas causadas por la herramienta de fabricación o medios de manipulación.
- **Fase 2:** la fisura se propaga por efecto de la cargas. Además, las grietas generalmente son finas y de difícil detección, aun cuando se encuentra próximas a producir la rotura de la pieza.
- **Fase3:** cuando la sección transversal restante del material resulta demasiado pequeña, es decir cuando se produce el adelgazamiento de la sección transversal del material por separación de las partículas el plano de la fisura, la sección neta de la pieza es incapaz de continuar resistiendo la carga desde un punto de vista estático produciendo la rotura por fatiga. ("julio garavito")

## 5 Desgaste

El desgaste se define como. La progresiva pérdida de material desde las superficies deslizantes por la acción del rozamiento, y se pueden clasificar según el tipo de mecanismo que causa la eliminación de material de las superficies, la mayoría de los casos de desgaste implican aparentemente la adhesión de las rugosidades superficiales y el corte subsecuente de las uniones. (Borrás, 2005)

### 5.1 Tipos de Desgaste

Su clasificación está directamente enlazada en los mecanismos de rozamiento descritos, es así como su primera clasificación sería

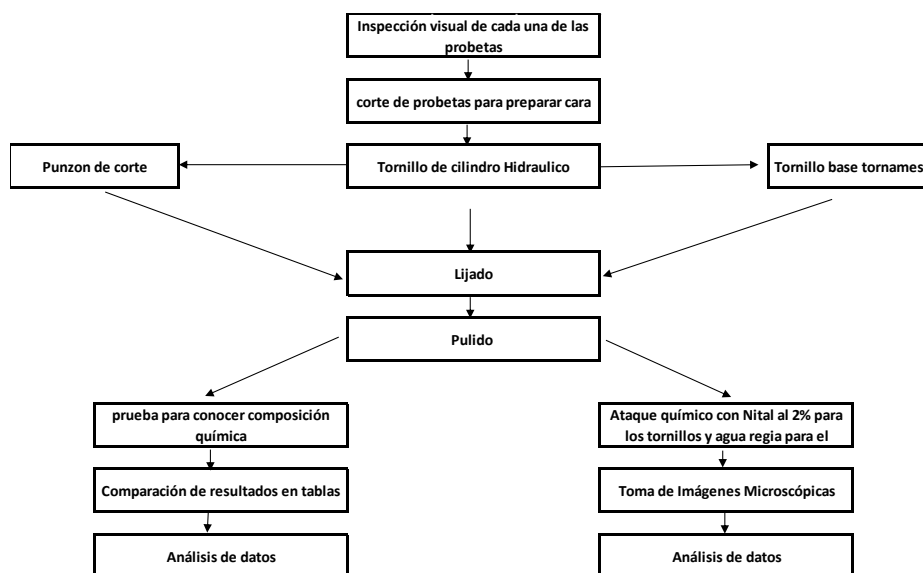
- Desgaste Cohesivo
- Desgaste abrasivo o interferencial.

## 6 Desarrollo Experimental

Para el análisis de falla, es necesario usar tres herramientas; una es la inspección visual, la metalografía y el análisis químico de cada una de las piezas. La inspección visual nos ayuda a localizar partes donde las fallas inician o terminan, como sucedió la fractura o los cizallamientos de las piezas, cambios de materiales, deformaciones, defectos que no son necesarios observar en el microscopio. El estudio metalográfico tiene como finalidad estudiar la estructura de los metales y sus aleaciones para poder caracterizarlo y gracias al estudio de la composición química mediante la espectrometría se puede llegar a determinar el porcentaje de cada uno de los elementos que contiene cada una de las piezas a analizar, El uso de microscopio con aumentos entre 50 y 1000X se usan para el estudio de esta naturaleza y con la ayuda de una solución reactiva, se puede evidenciar la microestructura de un metal. Para la mayoría de los aceros, se utiliza ácido nítrico o Nital al 2% como solución reveladora pero en este caso y para la probeta tomada del punzón de corte se necesitara una solución más reactiva, es así que se debe utilizar solución de agua regia la cual se compone de 75% de ácido Clorhídrico y 25% de ácido Nítrico. La muestra se expone por algunos segundos al ácido y luego se neutraliza con alcohol etílico. También es necesario el uso de un durómetro Rockwell para establecer propiedades mecánicas de los objetos de estudio. Para su conocer su composición química fue requerido un equipo especializado llamado espectrómetro el cual mediante una chispa generada a la probeta en un ambiente inerte generado por un gas puede mostrar en una pantalla el porcentaje de presencia de cada elemento químico

Para desarrollar la parte experimental de este proyecto, se planteó el procedimiento expuesto en el siguiente diagrama.

*Ilustración 2. Flujo grama de secuencia de desarrollo del proyecto*



Fuente: Elaboración propia de los autores

## 6.1 Metodología

Para la primera parte de inspección visual se tuvo en cuenta el estado de las piezas como se encontraron en el momento de la falla, su procedencia, el ambiente al que estaban expuestas y lo sucedido al momento de fallar.

En las instalaciones de la universidad se utilizó el laboratorio de metales y tratamientos térmicos el cual cuenta con los siguientes equipos.

*Ilustración 3. Sierra de corte.*



Fuente: Elaboración propia de los autores

*Ilustración 4. Máquina de lijar*



Fuente: Elaboración propia de los autores

*Ilustración 5. Microscopio metalográfico Olympus GX 41*



Fuente: Elaboración propia de los autores.

*Ilustración 6. máquina de pulido*



Fuente: Elaboración propia de los autores

*Ilustración 7. Durometro*



Fuente: Elaboración propia de los autores

En el laboratorio, se realizó el siguiente procedimiento para toma de datos:

- Se hizo corte de las piezas a estudiar para extraer fragmentos que serían utilizados para aplicar técnicas de metalografía y determinar el tipo de material.
- Se realizó el pulido de piezas con lijas de agua con tamaños de grano 80, 100, 150, 220, 400, 1000 y 1200 en dirección perpendicular a las líneas del anterior lijado, con el fin de reducir irregularidades en la sección de corte, hasta obtener una superficie lo menos rayada posible.
- En la máquina de pulido, se utilizó un paño con alúmina hasta obtener brillo espejo de la piezas, teniendo cuidado que la presión ejercida en la pieza no sea excesiva para evitar rayones no deseados. Esta operación se realizó a 180 revoluciones por minuto con constante suministro de una suspensión de alúmina con agua.
- Se ejecutó el ataque químico de cada probeta con ácido nítrico y así poder visualizar la microestructura del material.

Se capturan imágenes a diferentes aumentos con el microscopio óptico.

Se mide la dureza de las probetas en el durómetro Rockwell.

## 7 Documentación e Inspección Visual

---

### 7.1 Tornillo Tornamesa (Muestra 1)

Este tornillo hace parte del sistema de sujeción de ajuste entre el chasis del equipo y el rodamiento de tornamesa, el cual va ubicado en una plataforma para trabajos en alturas, este equipo (ilustración 8) fue llevado a instalaciones de McALLISTER S.A.S por motivos de mantenimiento correctivo por presentar anomalías en su funcionamiento, esta compañía se dedica a la importación, alquiler y servicio técnico de maquinaria para diferentes sectores de la industria nacional. Esta plataforma para trabajos en alturas marca JLG modelo 450AJ, cumple como función elevar dos personas de una forma segura a 45ft de altura.

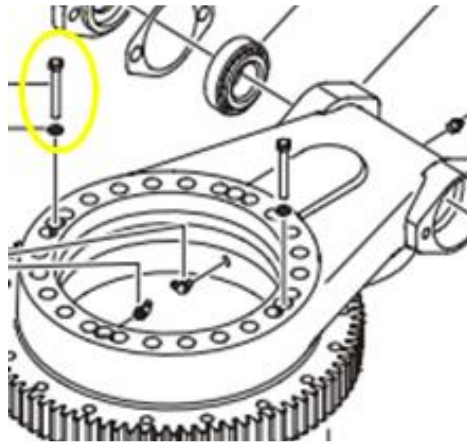
*Ilustración 8. Plataforma JLG Modelo 450AJ*



Fuente: Elaboración propia de los autores

Durante este proceso de mantenimiento correctivo del equipo fue necesario realizar el remplazo de los 24 tornillos que sujetan a la tornamesa el rodamiento de la plataforma la cual brinda en el equipo un giro de 360° ver ilustración 9, este cambio por recomendación del fabricante.

*Ilustración 9. Tornillo recomendado para cambio*



Fuente: Manual de Servicio JLG 450AJ

Procediendo con el ajuste de torque recomendado por fabricante el cual corresponde a 326 Nm (240 lb-ft) y la aplicación de Loctite 277 uno de estos tornillos presento fractura en inicio de rosca de tornillo pasante (ilustración 10). Esta fractura se puede evidenciar en hilo número 1 de la rosca realizando conteo desde la cabeza del tornillo.

*Ilustración 10. Fractura en tornillo*



Fuente: Elaboración Propia de los Autores

Se puede evidenciar en área de fractura espirales causadas por el torque realizado lo cual nos pueden dar indicio de fragilidad en material causando falla en hilo 1 y así mismo la propagación del daño y fractura total del material.

*Ilustración 11. Espirales en fractura.*

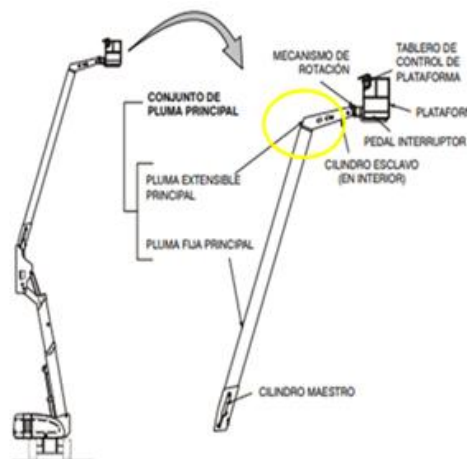


Fuente: Elaboración Propia de los Autores

## **7.2 Tornillo Cilindro Hidráulico (Muestra 2)**

Iniciando proceso de diagnóstico y desarme en cilindro hidráulico el cual cumple como función extender / retraer sección telescópica en una plataforma para trabajos en alturas, se pudo evidenciar que la parte superior del cilindro la cual va sujeta a un pasador ubicado en posición horizontal que a su vez es ayudado sujetándose por medio de dos tornillos de cabeza estriada al chasis del equipo.

*Ilustración 12. Secciones de los brazos Plataforma JLG*



Fuente: Manual de Operador y Seguridad JLG 800AJ

Desacoplando la parte superior del cilindro y retirando tornillos se pudo evidenciar de forma visual que uno de ellos presentaba fractura en inicio de rosca hilo número 2 este realizando conteo desde la parte pasante del tornillo, evaluando fractura se puede evidenciar que debido a fragilidad del material y por flexión la cual se muestra en cambio de paso y pérdida de hilo número 3.



*Ilustración 13. Detalle de deformación y pérdida de hilo número 3*



Fuente: Elaboración propia de los autores

Se puede evidenciar una fractura y pérdida de material lo cuales nos pueden dar inicio de fragilidad en material causando falla en hilos 2 y 3 y así mismo causando la propagación del daño y fractura total del material.

*Ilustración 14. Evidencia fractura del tornillo*



Fuente: Elaboración propia de los autores

Este tornillo hace parte del sistema de sujeción de un cilindro hidráulico, el cual va ubicado en una plataforma para trabajos en alturas, propiedad de la empresa McALLISTER S.A.S, compañía dedica en la importación, alquiler y servicio técnico de maquinaria para diferentes sectores de la industria nacional. Esta plataforma para trabajos en alturas marca JLG modelo 800AJ, cumple como función elevar dos personas de una forma segura a 80ft de altura.



*Ilustración 15. Plataforma JLG 800AJ*



Fuente: Elaboración propia de los autores

### **7.3 Punzón de Corte (Muestra 3)**

Este punzón de corte hace parte de un set de herramientas de corte de una punzonadora de la Compañía General de Aceros en su sucursal Inoxtec, la cual se dedica a la transformación de Láminas en producto terminado. La punzonadora CNC de marca TRUMATIC 200 realiza 420 golpes/min con una fuerza máxima de 150 KN

*Ilustración 16. Punzonadora TRUMATIC 200*

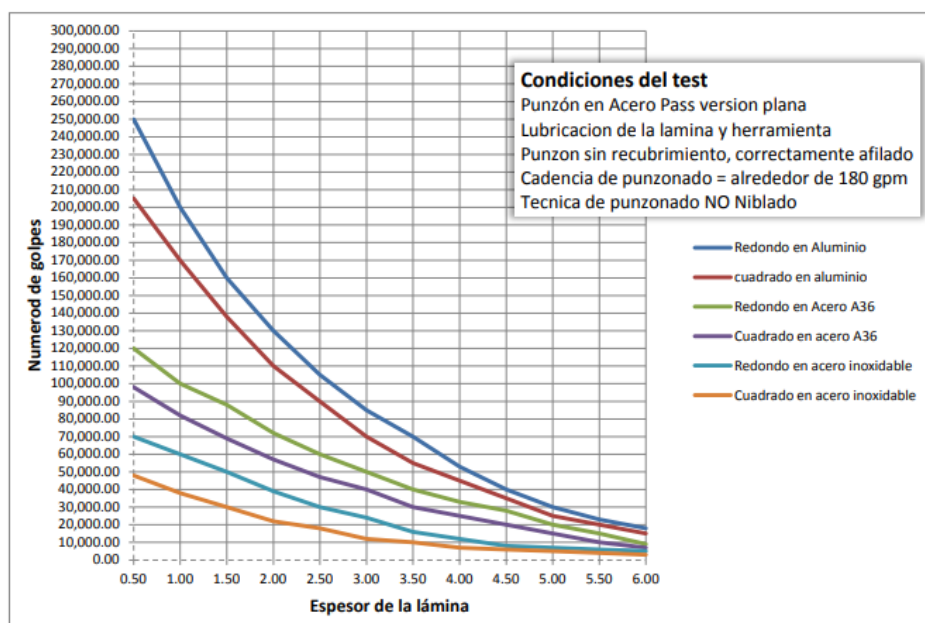


Fuente: Recuperado

[http://severnmachines.co.uk/uploads/files/Technical\\_Data\\_Sheet\\_Severn\\_TRUMATIC200\\_M2956.pdf](http://severnmachines.co.uk/uploads/files/Technical_Data_Sheet_Severn_TRUMATIC200_M2956.pdf)

Los punzones que utiliza esta máquina vienen con una vida útil, que depende de diferentes factores para llegar a determinar su duración.

Diagrama 1. Vida Útil de un punzón en número de golpes, a partir de espesores de lamina



Fuente: Recuperado <http://www.grupoidemet.com.mx/pdf/punzonadoras-b/Como%20calcular%20la%20vida%20util%20de%20los%20punzones%20para%20punzonadoras%20-%20Informe%20tecnico%20Boschert%20-%20Pass%20AG.pdf>

El punzón que presento la falla se encontraba procesando una Lámina de acero Inoxidable AISI 304 Calibre 18 (1,2mm). Este espesor es indicado para la utilización de este punzón. El punzón se encontró luego de detener la maquina ya sin una parte de la punta. Su estado fue el siguiente.

Ilustración 17. Estado en el que se encontró el punzón



Fuente: Elaboración propia de los autores

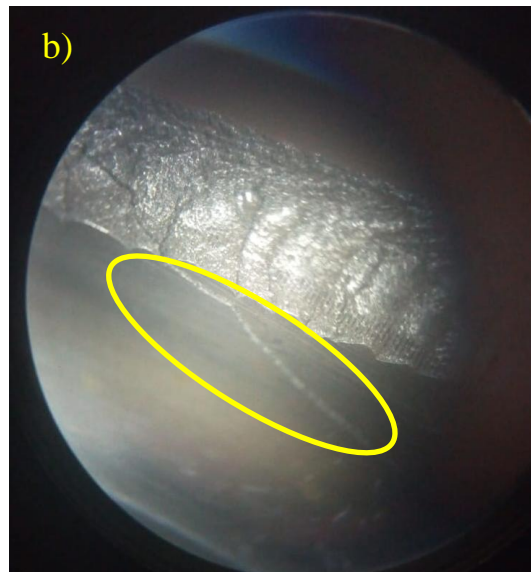
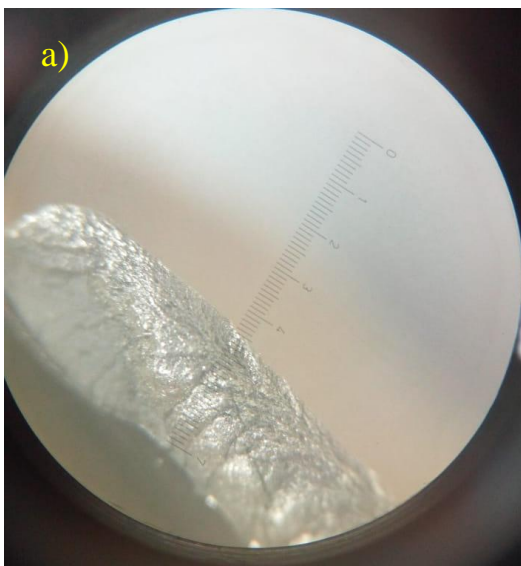
Con la ayuda de un estereoscopio de la Compañía General de Aceros S.A se lograron tomar detalles de la forma que dejó la fractura sobre la zona afectada, gracias a esto se podrán analizar cómo fue la posible forma de la falla desde su comienzo hasta el final

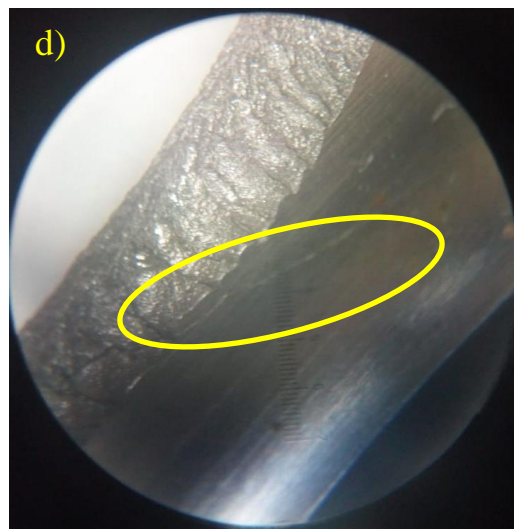
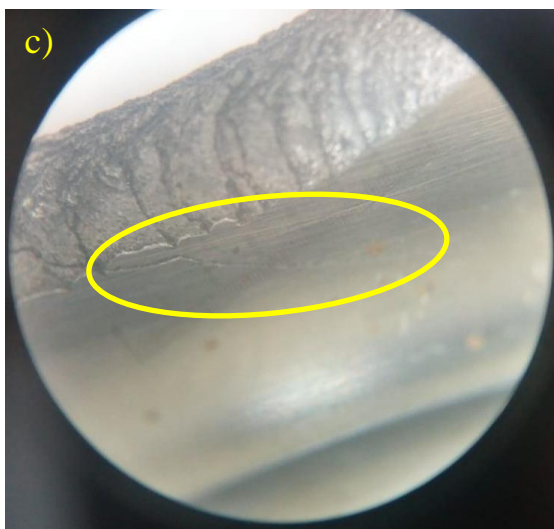
*Ilustración 18. Detalles logrados Con un Estereoscopio*



Fuente. Área de Calidad Compañía General De Aceros S.A

*Ilustración 19. Detalles captados de la fractura sufrida por el punzón de corte*





Fuente. Área de Calidad Compañía General De Aceros S.A

Gracias a estas tomas se pueden ver algunos detalles que a simple vista es un poco complejo de notar, por ejemplo se detalla unas fisuras en las imágenes b), c) y d) de la ilustración 16 que probablemente fueron las que iniciaron la fractura del punzon.

## 8 Composición Química

Para el estudio de la composición química conto con la ayuda de la empresa colombiana Compañía General de Aceros S.A. la cual cuenta con un equipo especializado en determinar la composición química de los aceros y así garantizar a los clientes que están llevando el acero que están comprando. Este equipo es un espectrómetro fabricado por le empresa Oxford Instrument.

*Ilustración 20. Equipo PMI-MASTER PRO*



Fuente: (LTD, 2008)



Para lograr tomar unos buenos resultados era necesario llegar hasta el metal, quitando capas de cincado, o pintura. Las probetas fueron marcadas para poder diferenciar cuando se tuvieran los resultados

*Ilustración 21. Probetas Marcadas para realizar la prueba de composición química, Muestra 1-Tornillo de la tornamesa, Muestra 2- Tornillo de cilindro hidráulico, Muestra 3 – Punzón de corte*



Fuente: Elaboración propia de los autores

Este equipo utiliza la óptica para generar una chispa en un ambiente inerte gracias a un gas de protección que utiliza, esta chispa realiza una excitación de átomos haciendo que se separen y logrando identificar el porcentaje de cada uno; dejando una marca de quemadura sobre la cara de la probeta.

*Ilustración 22. Quemadura provocada por el espectrómetro PMI-MASTER PRO*



Fuente: Elaboración propia de los autores

Después de tres tomas a cada probeta, el espectrómetro no define el acero según ninguna norma, solo arroja el listado de elementos químicos que logro detectar en cada probeta y sobre qué porcentaje, y genera un informe de la siguiente manera

*Anexo 1. Reporte de análisis de composición química de la muestra 1*

*Anexo 2. Reporte de análisis de composición química de la muestra 2*

*Anexo 3. Reporte de análisis de composición química de la muestra 3*

Después de tener el reporte de cada una de las probetas se entra a analizar cada una e identificar a partir de una comparación en tablas donde cada tipo de acero tiene su composición química.

## 8.1 Composición química tornillo tornamesa (Muestra 1)

El reporte de la composición química arrojó los siguientes datos.

*Tabla 1. Composición química de la Muestra 1*

<b>Elementos Químicos presentes</b>								
	<b>% Fe</b>	<b>% C</b>	<b>% Si</b>	<b>% Mn</b>	<b>% Cr</b>	<b>% Mo</b>	<b>% Ni</b>	<b>% Al</b>
<i>Toma 1</i>	97,2	0,372	0,331	0,601	0,971	0,0324	0,0925	0,0142
<i>Toma 2</i>	97,2	0,378	0,311	0,596	0,946	0,0335	0,101	0,0147
<i>Toma 3</i>	97,2	0,392	0,301	0,610	0,926	0,0289	0,112	0,0152
<b>Promedio</b>	<b>97,2</b>	<b>0,38</b>	<b>0,315</b>	<b>0,602</b>	<b>0,948</b>	<b>0,0316</b>	<b>0,102</b>	<b>0,0147</b>
<b>Elementos Químicos presentes</b>								
	<b>% Co</b>	<b>% Cu</b>	<b>% Nb</b>	<b>% Ti</b>	<b>% V</b>	<b>% W</b>	<b>% Pb</b>	
<i>Toma 1</i>	0,0295	0,0271	0,0656	0,0149	0,0169	0,182	0,0415	
<i>Toma 2</i>	0,0297	0,0278	0,0629	0,0129	0,0172	0,175	0,0415	
<i>Toma 3</i>	0,0300	0,0332	0,0659	0,0154	0,0180	0,182	0,0391	
<b>Promedio</b>	<b>0,0297</b>	<b>0,0294</b>	<b>0,0648</b>	<b>0,0144</b>	<b>0,0173</b>	<b>0,179</b>	<b>0,0407</b>	

Fuente: Espectrómetro PMI-MASTER PRO - Compañía General De Aceros S.A

Lo primero que se determinó es que estos tornillos pertenecen al grupo de Aceros de medio-bajo carbono, a partir de esto se comenzó a buscar en diferentes tablas que mostraran la composición química de cada acero estandarizado

Tabla 2. Comparación de % teórico con el obtenido Muestra 1

Elemento Químico	% Practico Promedio	ACERO AISI SAE 4340	% contenido
Fe	97,2		97,5
C	0,38		0,38 - 0,43
Si	0,315		0,15 - 0,30
Mn	0,602		0,60 - 0,80
Cr	0,948		0,70 - 0,90
Mo	0,0316		0,20 - 0,30
Ni	0,102		--
Al	0,0147		--
Co	0,0297		--
Cu	0,029		--
Nb	0,0648		--
Ti	0,0144		--
V	0,02		--
W	0,179		--
Pb	0,0407		--

Fuente: Creado por los Autores del trabajo <http://stainless.steelandtube.co.nz/wp-content/uploads/2014/06/HighTensileSteel4340.pdf>

### 8.1.1 Prueba en Laboratorio de Dureza Rockwell C

Durante el laboratorio se tomó la dureza en tres ocasiones para llegar a un promedio y este fue el resultado

Tabla 3. Dureza Resultante de 3 pruebas de la muestra 1 en el laboratorio.

Prueba	Dureza (HRC)
1	45
2	45
3	44
Promedio	44,67

Fuente: Creado por los Autores del trabajo

## 8.2 Composición química tornillo de cilindro hidráulico (Muestra 2)

El reporte de la composición química arroja los siguientes datos.

Tabla 4. Composición química de la Muestra 2

<b>Elementos Químicos presentes</b>								
	% Fe	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Mo	% Ni	% Al
<i>Toma 1</i>	97,1	0,37	0,31	0,709	0,904	0,204	0,0585	0,0291
<i>Toma 2</i>	97,0	0,363	0,341	0,699	0,92	0,21	0,0642	0,0305
<i>Toma 3</i>	97,0	0,338	0,364	0,703	0,887	0,204	0,0745	0,0316
<b>Promedio</b>	<b>97,0</b>	<b>0,357</b>	<b>0,338</b>	<b>0,704</b>	<b>0,904</b>	<b>0,206</b>	<b>0,0657</b>	<b>0,0304</b>
<b>Elementos Químicos presentes</b>								
	% Co	% Cu	% Nb	% Ti	% V	% W	% Pb	
<i>Toma 1</i>	0,0248	0,0198	0,0603	0,0096	0,0128	0,127	0,0261	
<i>Toma 2</i>	0,0250	0,0188	0,0622	0,0115	0,008	0,162	0,0306	
<i>Toma 3</i>	0,0243	0,0174	0,0596	0,011	0,0103	0,179	0,041	
<b>Promedio</b>	<b>0,0247</b>	<b>0,0187</b>	<b>0,0607</b>	<b>0,0107</b>	<b>0,0104</b>	<b>0,156</b>	<b>0,0326</b>	

Fuente: Espectrómetro PMI-MASTER PRO - Compañía General De Aceros S.A

Tabla 5. Comparación de % teórico con el obtenido Muestra 2

Elemento Químico	% Practico Promedio	ACERO AISI SAE 4340	% contenido
<b>Fe</b>	97,0		97,5
<b>C</b>	0,357		0,38 - 0,43
<b>Si</b>	0,338		0,15 - 0,30
<b>Mn</b>	0,704		0,60 - 0,80
<b>Cr</b>	0,904		0,70 - 0,90
<b>Mo</b>	0,206		0,20 - 0,30
<b>Ni</b>	0,0657		--
<b>Al</b>	0,0304		--
<b>Co</b>	0,0247		--
<b>Cu</b>	0,019		--
<b>Nb</b>	0,0607		--
<b>Ti</b>	0,0107		--
<b>V</b>	0,01		--
<b>W</b>	0,156		--
<b>Pb</b>	0,0326		--

Fuente: Creado por los Autores del trabajo <http://stainless.steelandtube.co.nz/wp-content/uploads/2014/06/HighTensileSteel4340.pdf>



### 8.2.1 Prueba en Laboratorio de Dureza Rockwell C

Durante el laboratorio se tomó la dureza en tres ocasiones para llegar a un promedio y este fue el resultado

Tabla 6. Dureza Resultante de 3 pruebas de la muestra 2 en el laboratorio.

Prueba	Dureza (HRC)
1	39
2	38
3	38
Promedio	38,33

Fuente: Creado por los Autores del trabajo

### 8.3 Composición química punzón de corte (Muestra 3)

El reporte de la composición química arrojó los siguientes datos.

Tabla 7. Composición química de la Muestra 3

Elementos Químicos presentes								
	% Fe	% C	% Si	% Mn	% Cr	% Mo	% Ni	% Al
Toma 1	80,8	0,991	0,258	0,331	3,89	5,33	0,169	0,0229
Toma 2	81,0	0,92	0,279	0,337	3,86	5,21	0,172	0,0277
Toma 3	80,7	0,951	0,272	0,33	3,83	5,28	0,174	0,0318
Promedio	80,9	0,954	0,27	0,332	3,86	5,27	0,172	0,0275
Elementos Químicos presentes								
	% Co	% Cu	% Nb	% Ti	% V	% W		
Toma 1	0,493	0,115	0,0372	0,0071	1,68	5,77		
Toma 2	0,491	0,107	0,0410	0,0083	1,68	5,77		
Toma 3	0,512	0,108	0,0419	0,0061	1,72	5,94		
Promedio	0,499	0,110	0,0400	0,0072	1,70	5,82		

Fuente: Espectrómetro PMI-MASTER PRO - Compañía General De Aceros S.A

Lo primero que se realizó es ubicar esta pieza en uno de los grupos principales de los aceros, teniendo en cuenta que se está hablando de un punzón de corte el cual por medio de un golpe genera el corte en una lámina con la geometría de este, es por eso que para este caso se ubicó en aceros grado herramienta, se comenzó a comparar con los diferentes tipos de acero grado herramienta más comunes y los no tan comunes.

Anexo 4. Tabla de Aceros Grado Herramienta con su composición química

Fuente: ASTM A681 Aceros Herramienta Composición

Luego de comparar con varios tipos de aceros, el más aproximado con la composición química de la probeta fue el AISI M2;

Tabla 8. Comparación de % teórico con el obtenido Muestra 3

Elemento Químico	% Practico Promedio	ACERO AISI SAE M2	% contenido
Fe	80,9		80.7
C	0,954		0.78-1.05
Si	0,27		0.20-0.45
Mn	0,332		0.15-0.40
Cr	3,86		4,2
Mo	5,27		4.50-5.50
Ni	0,172		0.3
Al	0,0275		--
Co	0,499		--
Cu	0,110		0.25
Nb	0,0400		--
Ti	0,0072		--
V	1,70		1.75-2.20
W	5,82		5.50-6.75

Fuente: Creado por los Autores del trabajo y sacado de la fuente ASTM A681 Aceros Herramienta Composición

El autor define. El Acero rápido aleado al tungsteno y molibdeno M2, particularmente satisfactorio para herramientas de corte en las que se requiere mantenimiento de filo y gran tenacidad con buena resistencia al desgaste y mantenimiento de dureza al rojo (Servicio Industrial, 2012)A

El acero M2 se utiliza en brocas, machos, fresas y caracol de tipo común, cuchillos, brochas, escariadores, peines laminados de roscas, etc. También se utiliza en el corte y conformación en frío en matrices y punzones, en el que las herramientas se pueden utilizar con menor dureza de acuerdo con la aplicación particular

### 8.3.1 Tratamiento Térmico del Acero AISI M2

El Acero M2 deberá pasar por diferentes procesos que afectaran su microestructura, esto con el único fin de aumentar su dureza y resistencia al impacto y desgaste.

- **Relevado de Tensiones** 595-740°C (1100-1300°F): Mantener 2 horas después de calentamiento al núcleo, enfriamiento lento en horno o al aire. Recomendable para reducir las tensiones causadas por un extenso maquinado en caso de herramientas de configuración complicada y para reducir las tensiones después de un proceso de electro-erosión.
- **Enderezado** Preferible a 205-425°C (400-800°F).

- **Temple** Precalentar 815-845°C (1500-1550°F) - Normalizar.
- **Temple (Austenización)** 1150-1220°C (2100-2225°F) - Mantener 2 a 5 minutos a temperatura. Usar margen superior de temperatura para herramientas de configuración sencilla, margen inferior de la temperatura para herramientas de configuración complicada.
- **Para Herramientas de Corte:** 1075-1230°C (2150-2250°F)
- **Para Herramientas de Trabajo en Frío:** 1020-1190°C (2050-2175°F)
- **Enfriamiento:** En sales o aceite a 540-595°C (1000-1100°F), normalizar, enfriar al aire a menos de 65°C (150°F). Revenir inmediatamente. La velocidad de enfriamiento al vacío o en atmósfera controlada por debajo de 540°C (1000°F) es crítica para obtener la respuesta óptima al tratamiento térmico. El tiempo de permanencia está en función del tamaño de la pieza y los parámetros del horno.
- **Revenir:** 540°C (1000°F) o mayor. Calentamiento lento hasta la temperatura de revenido inmediatamente después del temple. Tiempo de permanencia en el horno: 1 hora por cada 20 mm de espesor de la pieza, pero 2 horas como mínimo; enfriamiento al aire. Primer y segundo revenido hasta alcanzar la dureza útil deseada. En el diagrama de revenido, figuran los valores aproximados de la dureza alcanzable después del revenido. Tercer revenido para la distensión: 30-50°C (85-120°F) por debajo de la temperatura máxima de revenido. (Servicio Industrial, 2012)

Tabla 9. Dureza en HRC del acero AISI M2 teniendo como referencia la temperatura de revenido

RESPUESTA AL TRATAMIENTO TERMICO			
Enfriamiento al aceite			
	Dureza HRC - Temperatura de Temple		
Temperatura de revenido	1150°C	1175°C	1230°C
	(2100°F)	(2150°F)	(2250°F)
525°C- (975°F)	62	63.5	65
540°C - (1000°F)	63.5	64	65.5

Fuente: Creado por los Autores del trabajo y tomado de (Servicio Industrial, 2012)P(2)

### 8.3.2 Prueba en Laboratorio de Dureza Rockwell C

Durante el laboratorio se tomó la dureza en tres ocasiones para llegar a un promedio y este fue el resultado.

Tabla 10. Dureza Resultante de 3 pruebas de la muestra 3 en el laboratorio

Prueba	Dureza (HRC)
1	64
2	65
3	64
Promedio	64,33

Fuente: Creado por los Autores del trabajo

Se puede observar que la dureza teórica coincide con la dureza obtenida en el laboratorio, esta es otra prueba para afirmar que se trata de un acero AISI M2

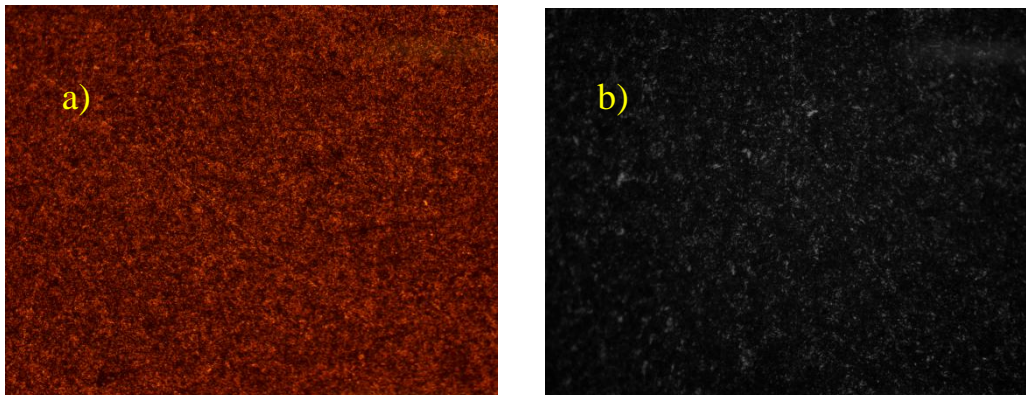
## 9 Microestructuras obtenidas de Laboratorio

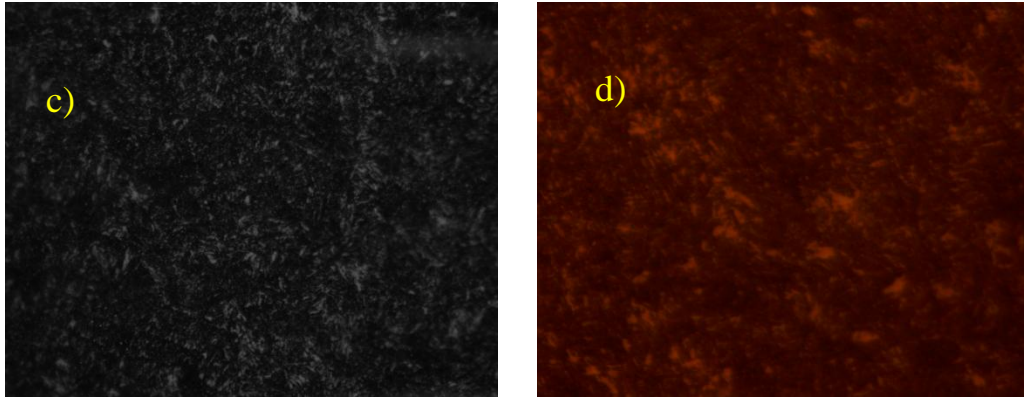
---

### 9.1 Tornillo tornamesa (Muestra 1)

Durante el desarrollo del laboratorio y luego del ataque con Nital al 2% durante 3 minutos se lograron obtener las siguientes imágenes en el microscopio

Ilustración 23. Microestructura tomada a la probeta del tornillo de la tornamesa con aumento de a)10x b)20x, c)50x y d) 100x



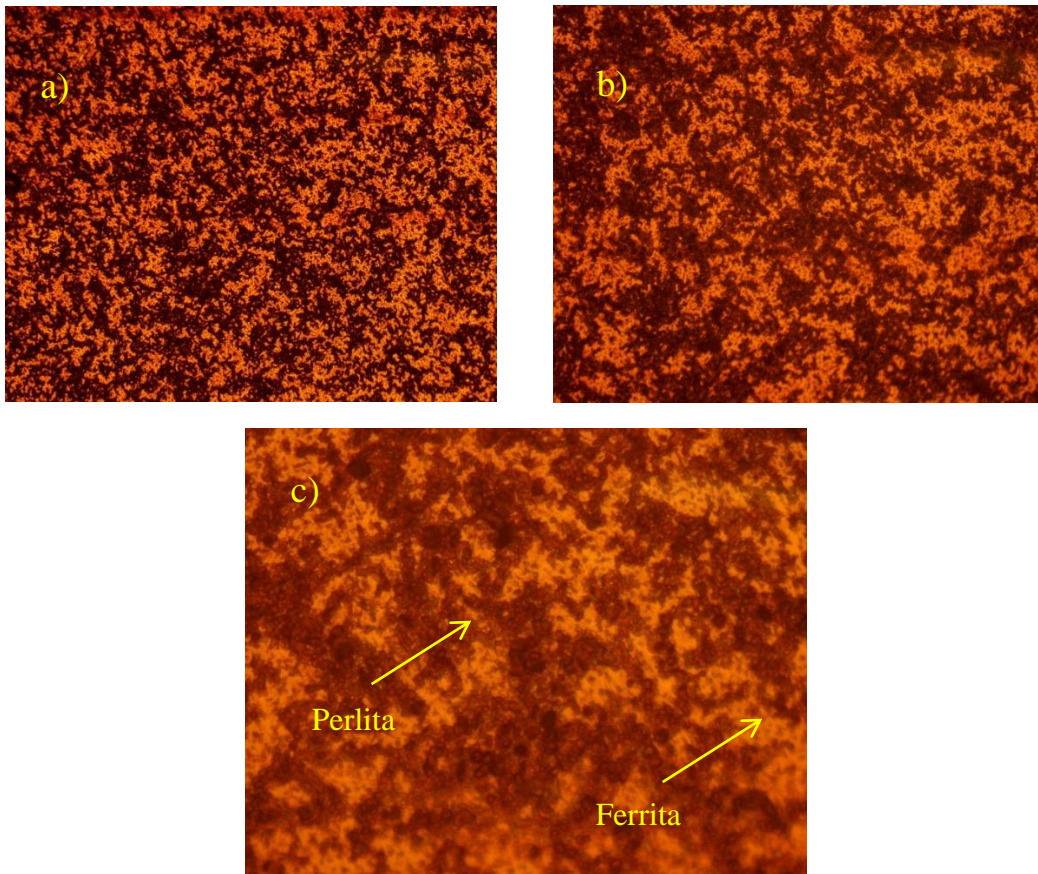


Fuente: Creado por los Autores del trabajo

## 9.2 Tornillo Cilindro hidráulico (Muestra 2)

Durante el desarrollo del laboratorio y luego del ataque con Nital al 2% durante 3 minutos se lograron obtener las siguientes imágenes en el microscopio

*Ilustración 24. Microestructura tomada a la probeta del tornillo del cilindro hidráulico con aumento de a) 10x, b) 20x y c) 50x*

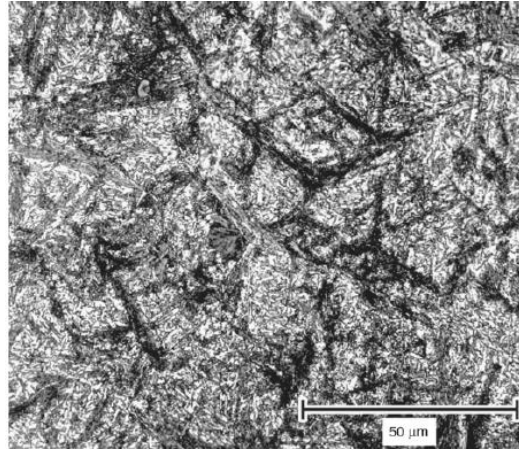


Fuente: Creado por los Autores del trabajo



Gracias a la composición química que se logró hacer sobre cada una de las muestras, se determina que la (Muestra 1) y la (Muestra 2) tiene un material base igual, un acero AISI 4340 tratado y revenido, teniendo en cuenta esto se procedió a comparar sus respectivas microestructuras con imágenes de [ASM Handbook Vol. 9] Vander Voort G.F. (ed.) - Metallography and Microstructures (2004, ASM) y este fue el resultado

*Ilustración 25. Microestructura del Acero AISI 4340*

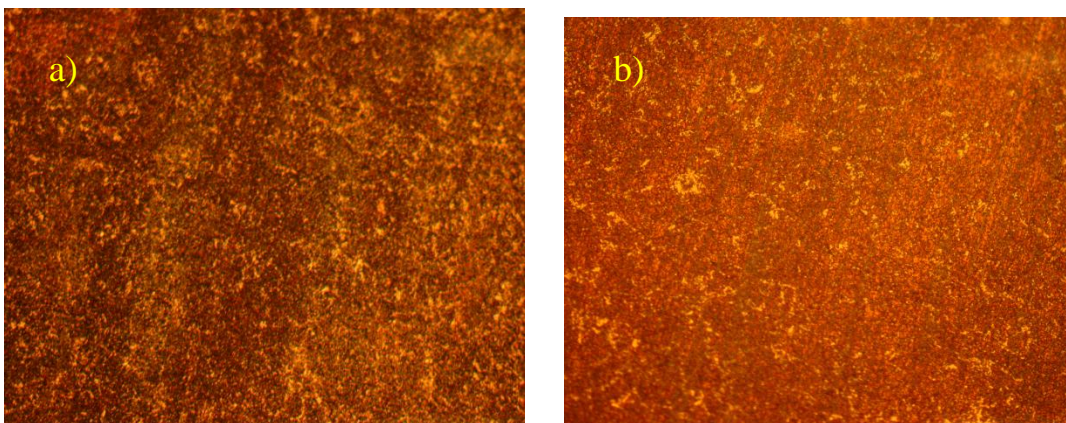


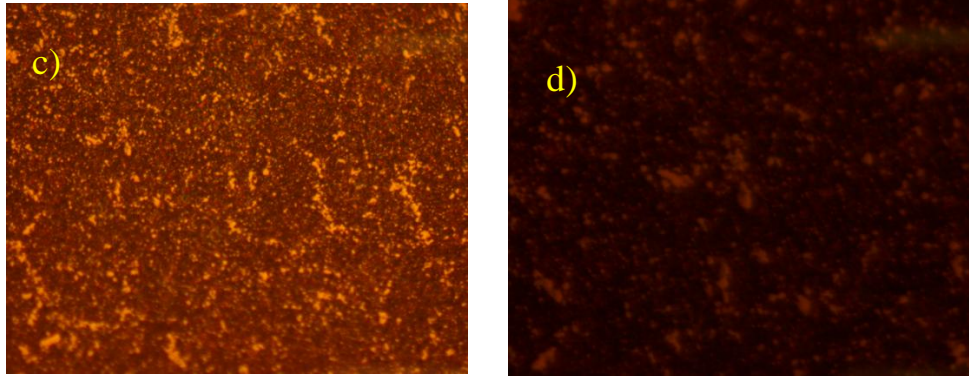
Fuente: (ASM International. Handbook Committee & Shipley, 2002)

### **9.3 Punzón de corte (Muestra 3)**

Durante el desarrollo del laboratorio y luego del ataque con agua regia durante 3 minutos se lograron obtener las siguientes imágenes en el microscopio

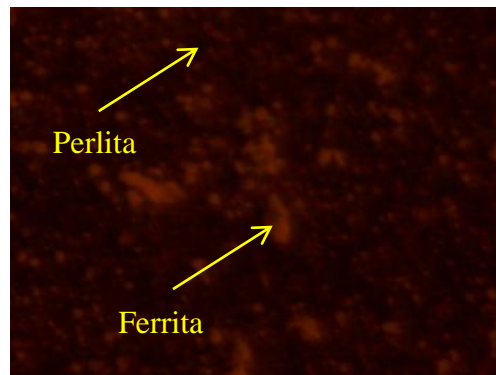
*Ilustración 26. Microestructura tomada a la probeta del punzón con aumento de a) 10x, b) 20x, c) 50x y d) 100x*





Fuente: Creado por los Autores del trabajo

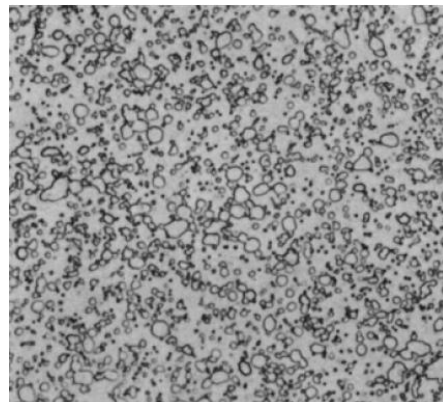
*Ilustración 27. Detalle de la microestructura*



Fuente: Creado por los Autores del trabajo

Teniendo la microestructura tomada en el laboratorio y gracias igualmente a los resultados de la composición química obtenido y ya conociendo que estamos hablando de un punzón en Acero AISI M2 procedemos a indagar la microestructura de este material en el [ASM Handbook Vol. 9] Vander Voort G.F. (ed.) - Metallography and Microstructures (2004, ASM) para realizar el respectivo análisis de tratamientos

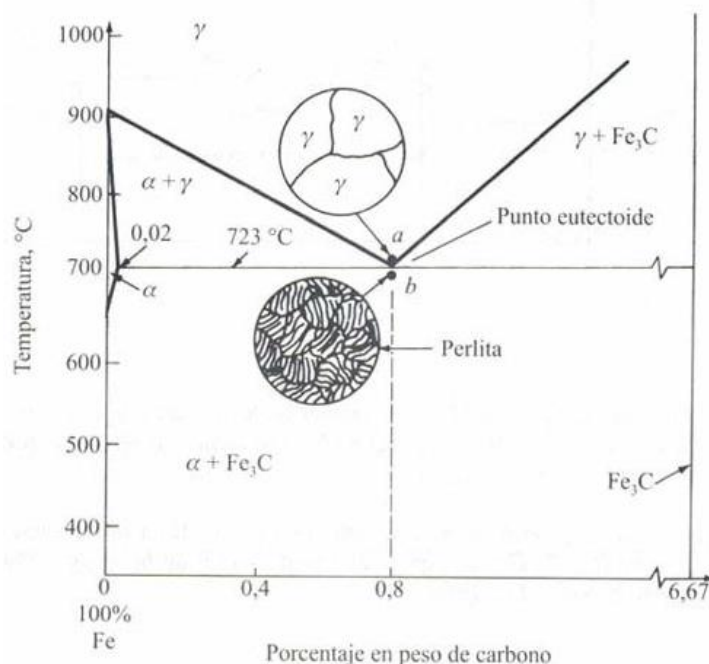
*Ilustración 28. AISI M2 molibdeno 1000×*



Fuente: (G.F, 2004, pág. 1550)

Al ser un acero con un poco más de 0,8% C (eutectoide) justo por encima de la temperatura eutectoide (723°C) se encuentra 100 % en fase de austenita. Si se enfría muy lentamente hasta temperatura eutectoide -o justo por debajo de ésta-, se provocará la transformación de la estructura total de la austenita en una estructura laminar de placas alternadas de ferrita- $\alpha$  y cementita ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ). Esta estructura eutectoide recibe el nombre de perlita. La estructura perlítica se mantendrá prácticamente invariable si continúa el enfriamiento hasta la temperatura ambiente (Actividades Diagrama de fases hierro-carbono)

*Ilustración 29. Transformación de un acero eutectoide en condiciones de enfriamiento lento.*



Fuente: <http://cosmolinux.no-ip.org/uned/unedcurset23.html>

Con esto se puede verificar y llegar a la conclusión que el material cumplía con las especificaciones requeridas para ser un acero grado herramientas y la falla no para presente por defectos en su composición química, ni el tratamiento térmico aplicado ya que la microestructura se detalla según la referencia tomada y la dureza de la pieza está acorde con las tablas desarrolladas para este tipo de acero


## 10 Diagnóstico de Resultados

Luego de analizar la composición química y las estructura metalográficas se logró determinar una tabla para realizar un diagnostico que aclara la posibilidad más clara de la falla que presentó cada una de las piezas

*Tabla 11. Diagnóstico realizado por los autores de la causa raíz de falla*



ELEMENTO	IMAGEN	DIAGNOSTICO
PUNZON DE CORTE		<p>El diagnostico que se puede dar es:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Posible falla por desgaste al haber estado probablemente expuesto a más golpes que el número máximo de golpes permitido según la ficha técnica, No se tiene una fecha clara de inicio de trabajo del punzón.</li> <li>• Posible Falla por descompensación o desnivelación de la máquina y provoco que la pieza realizara el ataque sobre la lámina en una posición no recomendada lo que generó una fractura inmediata</li> </ul>
TORNILLO CILINDRO HIDRAULICO		<p>Se puede dar diagnóstico de falla por</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Posible falla por fatiga dadas por ciclos de esfuerzos variables durante su instalación y proceso de operación de la pieza dado que va puesto en un sistema de articulación del cilindro hidráulico</li> <li>• Posible falla debido a falta de mantenimiento, esto basados en hoja del equipo en la cual no se encuentra información o registro de ajuste al tornillo</li> </ul>

<p>TORNILLO DE TORNAMESA</p>		<p>Se puede dar diagnóstico de falla por</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Posible falla por Fractura dúctil ya que la falla muestra como el material se fue deformando poco a poco hasta que tuvo una ruptura total</li> <li>• Posible Falla en el proceso de laminado ya que se pudieron haber generado fisuras durante el tallado de los hilos de la rosca, esto porque la falla ocurre precisamente en el inicio de los hilos de roscar del tornillo</li> </ul>
----------------------------------	---	--

Fuente: Creado por los Autores del trabajo

## 11 Conclusiones

---

Gracias a la tarea de indagar en libros, artículos que hablaran sobre un análisis de falla en elementos similares, los cuales dieron indicios acerca de los materiales, propiedades y demás elementos de peso para poder realizar un análisis de falla lo más cercano a la realidad.

Con la realización de las pruebas metalográficas, inspecciones visuales y la composición química se logró determinar el tipo de material de cada una de las piezas estudiadas lo que llevo a determinar roturas en todas las piezas pero sin cambio de fase.

Con el método RCA, para evaluar las posibles causas de falla de las piezas estudiadas. Esto ayuda a fortalecer la metodología experimental realizada para el presente proyecto.

Se hizo uso de material bibliográfico de varias fuentes, como soporte de la investigación. Esta información es muy relevante debido a su gran aporte en el desarrollo del proyecto.

## 12 Bibliografía

---

"julio garavito", e. c. (s.f.). Bogota: facultad de ingenieria insutrial laboratorio de produccion.

© 2015 CGA, T. 1. (s.f.). *Cia General de Aceros S.A.* Obtenido de <http://www.cga.com.co/>

*ISO 9001 versión 2015.* (4 de Marzo de 2016). Obtenido de <https://www.nueva-iso-9001-2015.com/2016/03/iso-9001-version-2015-analizar-causas-raiz-para-apoyar-acciones-correctivas/>

*Actividades Diagrama de fases hierro-carbono.* (s.f.). Obtenido de <http://cosmolinux.no-ip.org/uned/unedcurset23.html>

ALTIMAK. (s.f.). *Plataformas Manlift.* Obtenido de <http://www.altimak.com.co/novedades/43-plataformas-manlift>

ASM International. Handbook Committee, W., & Shipley, R. (2002). *ASM handbook. Vol. 11: Failure Analysis and Prevention.* ASM International,.

Borrás, C. F.-V. (2005). *Tecnologia de Materiales.* Mexico D.F: Alfaomega.

Castañeda, R. s. (1999). Caracterizacion y analisis de rodillos de laminacion en frio y en caliente. *Universidad Autonoma de Nuevo Leon*, 15.

Dilube. (s.f.). *Definicion de Punzonado.* Obtenido de <http://dilube.com/producto/punzonado/>

G.F, V. V. (2004). *ASM Handbook Vol 9-Metallography and Microstructures.* Estados Unidos: ASM International.

JLG. (22 de Diciembre de 2010). *Manual de servicio y mantenimiento.* Obtenido de [https://csapps.jlg.com/OnlineManuals/Manuals/JLG/JLG%20Boom%20Lifts/450A\\_AJ\\_series-II/Service%20manuals/Prior%20to%20SN%200300160835/Service\\_3123415\\_12-22-2010\\_Global\\_LatinSpanish.pdf](https://csapps.jlg.com/OnlineManuals/Manuals/JLG/JLG%20Boom%20Lifts/450A_AJ_series-II/Service%20manuals/Prior%20to%20SN%200300160835/Service_3123415_12-22-2010_Global_LatinSpanish.pdf)

JLG. (8 de Mayo de 2012). *Plataformas de levante con pluma.* Obtenido de [https://csapps.jlg.com/OnlineManuals/Manuals/JLG/JLG%20Boom%20Lifts/450A\\_AJ\\_series-II/Operation%20manuals/Prior%20to%20SN%200300160835/Operation\\_3122362\\_05-08-2012\\_Global\\_Spanish.pdf](https://csapps.jlg.com/OnlineManuals/Manuals/JLG/JLG%20Boom%20Lifts/450A_AJ_series-II/Operation%20manuals/Prior%20to%20SN%200300160835/Operation_3122362_05-08-2012_Global_Spanish.pdf)

JLG. (26 de Marzo de 2014). *Manual de operador y seguridad.* Obtenido de [https://csapps.jlg.com/OnlineManuals/Manuals/JLG/JLG%20Boom%20Lifts/800A\\_800AJ/Operation%20manuals/Prior%20to%20SN%200300183033/Operation\\_3122570\\_03-26-14\\_Global\\_Spanish.pdf](https://csapps.jlg.com/OnlineManuals/Manuals/JLG/JLG%20Boom%20Lifts/800A_800AJ/Operation%20manuals/Prior%20to%20SN%200300183033/Operation_3122570_03-26-14_Global_Spanish.pdf)

JLG. (14 de Diciembre de 2015). *Models 800A y 800AJ.* Obtenido de [https://csapps.jlg.com/OnlineManuals/Manuals/JLG/JLG%20Boom%20Lifts/800A\\_800AJ/Parts%20Manuals/Prior%20to%20SN-0300069000/Parts\\_3120741\\_12-14-15\\_ANSI\\_English.pdf](https://csapps.jlg.com/OnlineManuals/Manuals/JLG/JLG%20Boom%20Lifts/800A_800AJ/Parts%20Manuals/Prior%20to%20SN-0300069000/Parts_3120741_12-14-15_ANSI_English.pdf)

- JLG. (17 de Julio de 2018). *Models 450A Y 450AJ series II*. Obtenido de [https://csapps.jlg.com/OnlineManuals/Manuals/JLG/JLG%20Boom%20Lifts/450A\\_AJ\\_series-II/Parts%20manuals/Prior%20to%20SN-0300124000/Parts\\_3121243\\_07-17-18\\_Global\\_English.pdf](https://csapps.jlg.com/OnlineManuals/Manuals/JLG/JLG%20Boom%20Lifts/450A_AJ_series-II/Parts%20manuals/Prior%20to%20SN-0300124000/Parts_3121243_07-17-18_Global_English.pdf)
- LTD, O. I. (2008). mess-espectrometro-portatil-espectrometro-portatil-pmi-master-pro-405690.
- MILELLA, P. (2012). *Fatigue and Corrosion in Metals*. Springer-Milan: ISBN 9788847023369.
- MIPSA. (2018). *Metales Industriales de puerbla S.A.* Obtenido de <https://www.mipsa.com.mx/dotnetnuke/Procesos/Punzonado>
- Servicio Industrial, S. d. (2012). Acero SISA M2. Naucalpan, Estado de Mexico, Mexico.
- Shakelford, J. F. (1995). *Ciencia de Materiales para Ingenieros*. Nauacalpan de Juarez: PrenticeHall.
- William F Smith, J. H. (2004). *Fundamentos de la ciencia e ingenieria de los materiales*. Mexico: McGrawHill.